

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESQUEMAS DE
MODULACIÓN DIGITAL CON CODIFICACIÓN DIFERENCIAL Y FEC EN
PON.**

**AUTORES:
DANIEL ALEJANDRO ABRIL CAMACHO
JONATHAN FABRICIO BRICEÑO ÁLVAREZ**

**TUTOR:
GERMÁN VICENTE ARÉVALO BERMEO**

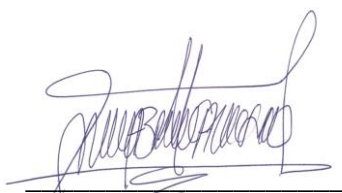
Quito, julio del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Daniel Alejandro Abril Camacho y Jonathan Fabricio Briceño Álvarez, con documentos de identificación N° 1720886744 y N° 1723511844 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación, intitulado: “ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESQUEMAS DE MODULACION DIGITAL CON CODIFICACION DIFERENCIAL Y FEC EN PON.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

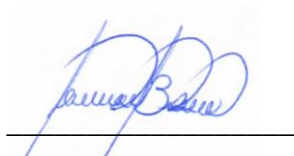
En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, julio del 2018



Daniel Alejandro Abril Camacho

CI: 1720886744



Jonathan Fabricio Briceño Álvarez

CI: 1723511844

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESQUEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL CON CODIFICACIÓN DIFERENCIAL Y FEC EN PON.” realizado por Daniel Alejandro Abril Camacho y Jonathan Fabricio Briceño Álvarez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2018



Germán Vicente Arévalo Bermeo

CI: 010315250-0

ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESQUEMAS DE MODULACION DIGITAL CON CODIFICACION DIFERENCIAL Y FEC EN PON

COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT DIGITAL MODULATION SCHEMES WITH DIFFERENTIAL CODING AND FEC IN PON

Daniel Abril Camacho¹, Jonathan Briceño Alvarez¹

Resumen

En este artículo se presenta el estudio de una comparación del desempeño de la transmisión de datos a 12 Gb/s en una red PON usando diferentes tipos de modulaciones digitales con corrección de errores FEC (Forward Error Correction) y codificación diferencial. Para definir un esquema de modulación óptimo para esta PON, se realizó comparaciones entre 16QAM (16-level Quadrature Amplitude Modulation) y PS-QPSK (Polarization-Switched Quadrature Phase-Shift Keying). Se utiliza un BER objetivo de 10^{-3} al ser este el límite de errores para un uso efectivo de FEC. El sistema que antes describo fue simulado utilizando el software VPI-PhotonicsTM, el cual permite recrear ambientes realistas de redes ópticas. Los resultados muestran que el esquema de modulación digital más eficiente es PS-QPSK, debido a que se logra un BER más óptimo con menores valores de bits errados que los obtenidos al emplear la modulación 16QAM.

Palabras Clave: PON, FEC, 16QAM, PS-QPSK, Bit Error Rate, VPI-Photonics

Abstract

In this paper se compare the performance of a 12Gb/s transmission in a PON using different types of digital modulations with FEC (Forward Enhanced Control) and differential codification. In order to define an optimal modulation scheme for this PON, some comparisons were made between 16QAM (16-level Quadrature Amplitude Modulation) and PS-QPSK (Polarization-Switched Quadrature Phase-Shift Keying). We defined an objective BER of 10^{-3} given that it is the FEC limit. The previously described transmission system was simulated using the VPI-PhotonicsTM software, which allows recreating realistic optical networks environments. Results show that PS-QPSK performs better than 16QAM modulation from the BER perspective.

Keywords: PON, FEC, 16QAM, PS-QPSK, Bit Error Rate, VPI-Photonics

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (mención Telecomunicaciones) - Universidad Politécnica Salesiana, UPS - sede Quito.

1. Introducción

Los recientes avances en redes sociales, servicios en la nube y la calidad del contenido multimedia (video de 4k / 8k) resultan en un crecimiento exponencial del tráfico de datos. De acuerdo con pronósticos recientes, se espera un aumento de casi tres veces en el tráfico IP en los próximos cinco años [1], por lo que se requerirá mayores anchos de banda en las redes PON actuales. La red PON más implementada en la actualidad es GPON misma que ofrece solamente de 2.488 Gb/s para tráfico de bajada (downstream) y 1.244 Gb/s para tráfico de subida (upstream). [2]

Las redes ópticas pasivas de nueva generación NG-PON2 (Next Generation – Passive Optical Network 2) permiten velocidades de transmisión de hasta 40 Gbit/s en downstream y 10 Gbit/s en upstream con una longitud total de hasta 60 km mismas que se consideran velocidades y distancias aceptables para el futuro crecimiento de tráfico de datos. Actualmente, no se espera un despliegue masivo de NG-PON2 por parte de los Proveedores de Servicios de Internet (ISP) debido al precio de la OLT y especialmente de las ONU [3], por lo cual resulta interesante estudiar la optimización de las redes PON actualmente existentes con el fin de obtener velocidades mayores a 2.488/Gbit/s para que los proveedores proporcionen un mejor servicio para sus usuarios sin necesidad de migración a nuevas tecnologías.

Por otro lado, las técnicas de modulación óptica multinivel como la modulación de amplitud en cuadratura (QAM) están atrayendo la atención en todo el mundo debido a que soporta la creciente demanda de ancho de banda en las redes actuales. Esto se debe al aumento de la eficiencia espectral y a las mayores velocidades de transmisión que esta modulación permite [4]. La investigación en los últimos años se ha dirigido hacia modulaciones tetradimensionales (4D) a partir de su presentación por primera vez

a la comunidad de redes ópticas en 2009 por Bülow así como Agrell and Karlsson. [5]. La modulación de cambio de fase en cuadratura con conmutación de polarización (PS-QPSK) resultó ser el formato más eficiente con relación a PM-QPSK, dado que se demostró que PS-QPSK puede alcanzar un aumento de alrededor de 30% en la distancia de transmisión sobre la misma tasa de bits [6] [7].

El aumento de las velocidades que se plantean para diferentes modulaciones provocan un aumento de tasa de muestreo con lo cual el número de bits efectivos se reduce, lo que limita la cardinalidad del formato de modulación que se puede utilizar [8]. Para evitar este problema en las modulaciones se busca disminuir el número de bits erróneos con el uso de FEC [2], ya que se ha demostrado que FEC ofrece un margen de sistema adicional al aumentar la inmunidad al ruido y a la distorsión de impulsos en los sistemas de transmisión óptica [9,10]. Sin embargo, para grandes cantidades de datos, donde la probabilidad de recibir más bits erróneos aumenta, para mejorar el BER resultante se hace uso de técnicas de codificación de datos como la diferencial que permite que la probabilidad de datos errores sea menor.

En este artículo, se compara el rendimiento de las modulaciones 16QAM y PS-QPSK con codificación diferencial, implementando técnicas de control de errores (FEC) sobre una red PON, para identificar cual permite una mayor eficiencia y aprovechamiento del sistema.

La sección dos de este artículo establece la configuración y funcionamiento del sistema, en la sección tres se realiza un análisis comparativo de las modulaciones planteadas, finalmente en la sección cuatro se presentan conclusiones relevantes a partir de los datos y mediciones obtenidas en este trabajo de investigación.

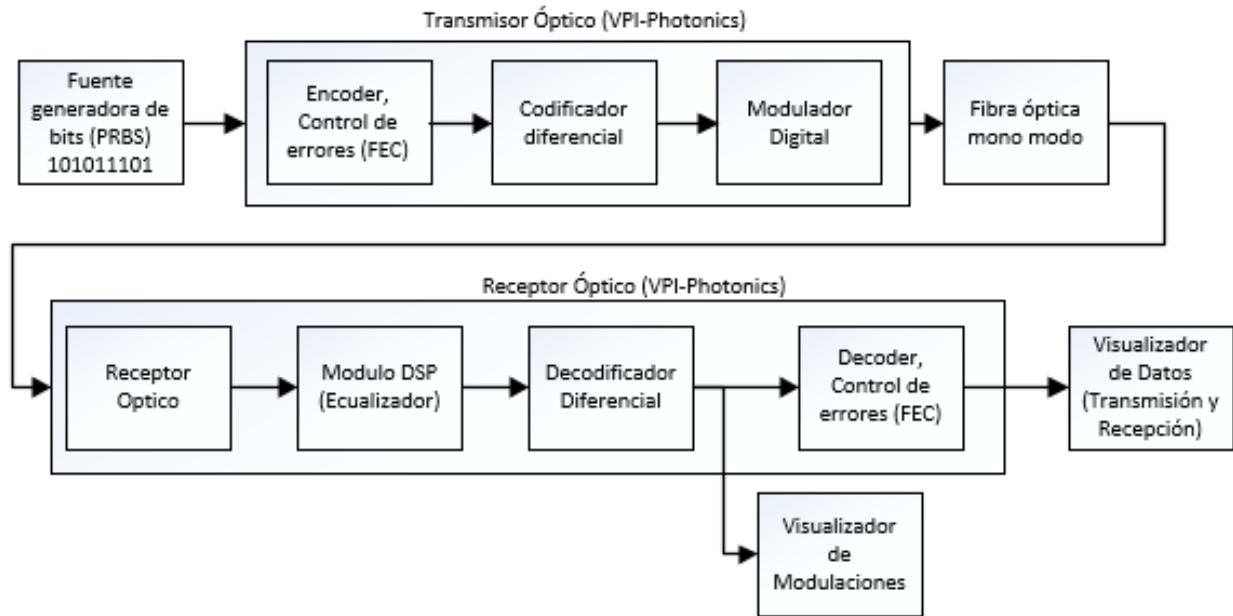


Figura 1. Diagrama de bloques de la PON simulada.

2. Experimentación

Se empleó la modulación 16QAM y PS-QPSK añadiendo codificación diferencial y corrección de errores (FEC) en la transmisión en una red PON. Esta simulación fue implementada en el software VPI-Photonics.

2.1 Parámetros y Características de la Red Óptica Pasiva (PON)

En la Figura 1 se muestra el diagrama de bloques de la red PON propuesta para la simulación. El emisor está formado por una fuente generadora de bits aleatorios, PRBS (Pseudorandom Binary Sequence), un módulo FEC, un módulo de codificación diferencial y un modulador óptico. El detector óptico se basa en un receptor coherente más un bloque de procesamiento digital de señales DSP (Digital Signal Processing) empleado para ecualizar la señal, además de los decodificadores diferencial y FEC. Para la visualización y estimación de errores se usó un módulo BER4D apropiado para las modulaciones 16QAM y PS-QPSK.

El enlace óptico está constituido por una fibra monomodo G652D con una atenuación de 0.2dB/km.

2.2 Generación de las modulaciones 16QAM y PS-QPSK

Mediante el software VPI-Photonics se generaron las modulaciones 16QAM y PS-QPSK, para su posterior comparación. Para 16QAM, se utilizó el formato de modulación mQAM con una codificación de 4 bits/símbolo, mientras que para PS-QPSK, se utilizó el formato de modulación mQPSK con una codificación de 3 bits/símbolo.

2.3 Corrección de errores FEC (Forward Error Correction) y Codificación Diferencial.

Para el control de errores en la red PON, se utilizó el método de corrección de errores hacia adelante (FEC), en donde para cada esquema de modulación se empleó la codificación LDPC_4376-282 (Low Density Parity Check). Para una mayor eficiencia del sistema se utilizó codificación diferencial dado que la velocidad de transmisión es 12Gb/s, con lo cual se espera una disminución en la tasa de bits erróneos en la recepción.

3. Análisis de Resultados

Se diseñó y simuló una red PON con corrección de errores FEC, codificación diferencial y diferentes modulaciones, considerando una relación señal a ruido de 12 dB para 16QAM y PS-QPSK, sobre fibra óptica monomodo SMF (Single Mode Fiber) del tipo G652D. El valor de OSNR, se eligió en base de experimentaciones, tomando así el valor más óptimo para poder realizar las comparaciones.

En la Figura 2, se observa el diagrama de constelaciones para la modulación 16QAM.

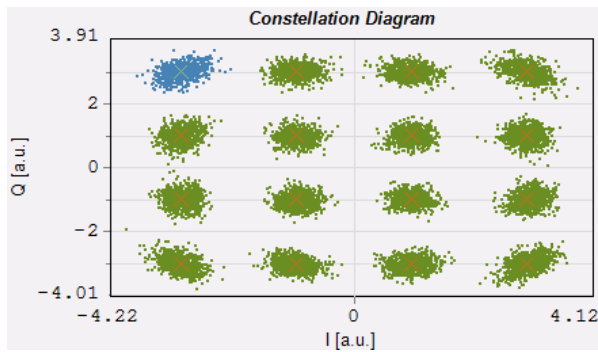


Figura 2. Diagrama de constelación de 16QAM

En la Figura 3, se observa el diagrama de constelaciones para la modulación PS-QPSK.

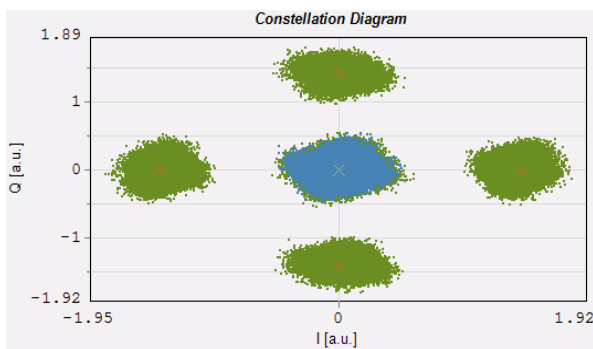


Figura 3. Diagrama de constelación de PS-QPSK

Para realizar el análisis del desempeño de la transmisión de datos usando los dos tipos de modulaciones empleadas en el presente estudio, se tomó muestras del BER vs la potencia de recepción (dato que tiene relación a su vez con la distancia de la fibra óptica), tanto para una transmisión sin corrección de errores y con corrección de errores FEC.

En la Figura 4, se muestra la curva del BER vs la potencia del receptor, sin FEC ni codificación diferencial. Puede verse que para la modulación 16QAM se alcanza un BER de 10^{-3} , con una potencia de señal en el receptor de apenas -17.14 dBm (19.31uW), equivalente a una distancia de 18Km en la fibra óptica, y para PS-QPSK se requiere una potencia de -19.33 dBm (11.66uW) equivalente a una distancia de 32Km de fibra óptica para alcanzar ese BER. En ambos casos es notable que la sensibilidad exigida en el receptor es muy baja, lo cual es típico de un receptor coherente. Nótese que hay una diferencia de desempeño de 2.19 dB de PS-QPSK en relación a 16QAM para alcanzar un BER umbral de 10^{-3} .

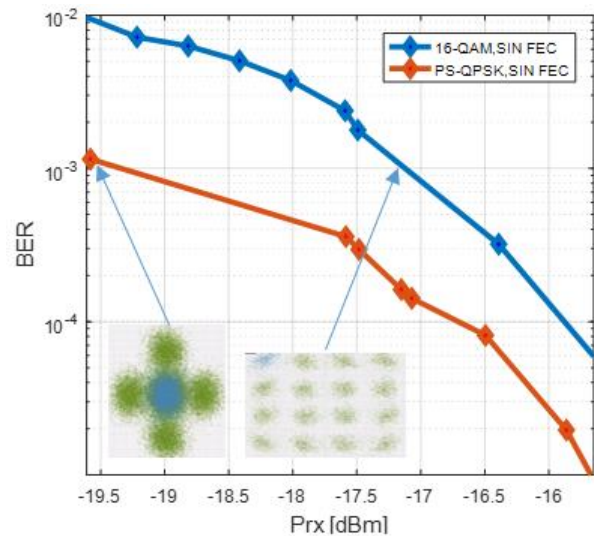


Figura 4. Gráfica del BER vs la potencia de recepción sin FEC.

En la Figura 5 se muestra la curva BER vs la potencia del receptor, con el método de control de errores FEC y codificación diferencial. La sensibilidad para un BER de 10^{-4} , corresponde a -17.71 dBm (16.94 μ W), a una distancia de 30Km para la modulación 16QAM, mientras que para la modulación PS-QPSK se tiene un umbral de sensibilidad de 10^{-4} que corresponde a -19.93 dBm (10.16uW), a una distancia de 52km. Para poder realizar una comparación de la eficiencia de cada modulación, se tomó como referencia mismas potencias de recepción, en donde se pudo comparar que la modulación PS-QPSK es más

eficiente, debido a que tiene menor tasa de bits erróneos a mayor distancia

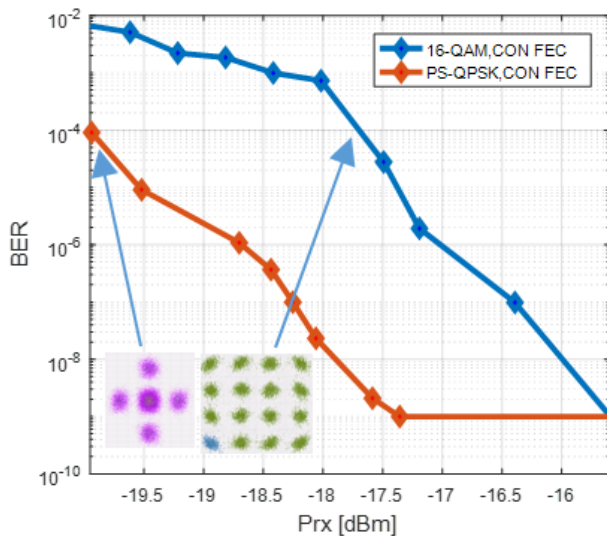


Figura 5. Gráfica del BER vs la potencia de recepción con FEC.

De la Figura 4 y 5 se analiza que el sistema mejora su rendimiento con el uso de FEC y codificación diferencial, teniendo mejores resultados del BER a menores potencias en los esquemas de modulación.

La degradación en la transmisión de datos se observa en los diagramas de constelaciones y es más visible cuando el valor del BER tiende a valores de 10^{-3} o mayores como se muestra en la figura 4, esto ocurre a medida que la potencia de recepción disminuye y la longitud del enlace óptico aumenta.

4. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación, al realizar la comparación entre los esquemas de modulación se demostró que la modulación PS-QPSK con FEC y codificación diferencial en una red PON ofrece alta tasa de transmisión, con excelentes valores de sensibilidad del receptor permitiendo alcanzar grandes distancias de transmisión.

Al emplear PS-QPSK se obtiene un BER de 10^{-9} con una potencia de la señal en recepción de apenas -17.35 dBm ($18.41\mu\text{W}$), a diferencia de la modulación 16QAM para la que se obtuvo el mismo BER con una potencia de señal en el receptor de -15.6 dBm ($27.54\mu\text{W}$),

es decir que existe una penalidad de 1.75 dB al usar esta última modulación.

5. Referencias

- [1] Cisco, "Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2014–2019 White Paper," 2015. [Online]. Available: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-n gn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.html
- [2] E. M. B. A. P. Ö. A. L. D. E. T. Einar In de Betou, «Upstream FEC Performance in Combination with Burst Mode Receivers for Next Generation 10 Gbit/s PON,» Ericsson Research Sweden, CPqD Telecom R&D Center Brazil, Torino, Italy, September, 2010.
- [3] P. M. P. C. V. O. a. J. V. Tomas Horvath, «Implementation of NG-PON2 Transmission Convergence Layer into OPNET Modeler,» Department of Telecommunications, Brno University of Technology, Czech Republic, 2017.
- [4] R. Essiambre, R. W. Thach, "Capacity trends and limits of optical communication networks", Proceedings of the IEEE, vol. 100, pp. 1035-1055, march 2012.
- [5] H. Bülow et al., "Polarization QAM Modulation (POL-QAM) for Coherent Detection Schemes", Proc. OFC'09, OWG2 (2009).
- [6] D. S. Millar et al., "Generation and Long-Haul Transmission of Polarization-Switched QPSK at 42.9 Gb/s", Opt. Exp., 19, 9296 (2011).
- [7] M. Sjödin et al., "Transmission of PM-QPSK and PS-QPSK with Different Fiber Span Lengths", Opt. Exp., 20, 7544 (2012).
- [8] F. B. W. I. S. C. Tobias A. Eriksson, «Electronically Subcarrier Multiplexed PM-32QAM with Optimized FEC Overheads,» Nokia Bell Labs, Germany, France, 2017.
- [9] W. D. Grover, "Forward error correction in dispersion-limited

- lightwave systems,” J. Lightw. Technol., vol. 6, pp. 643–654, May 1988.
- [10] S. Radic, N. Vukovic, S. Chandrasekhar, A. Velingker, and A. Sri-vastava, “Forward error correction performance in the presence of Rayleigh-dominated transmission noise,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 15, pp. 326–328, Feb. 2003.

